Optimisation multicritère d'un échangeur de chaleur air-sol pour différents climats mondiaux

Arnaud LAPERTOT [1*] & Benjamin KADOCH [1] & Olivier LE MÉTAYER [1]

Société Française de Thermique

INTRODUCTION ET OBJECTIF

Dans le monde, la consommation d'énergie augmente rapidement avec une majeure partie d'énergie non renouvelable. Du point de vue de l'utilisation de l'énergie, 75 % proviennent du chauffage et de l'eau chaude sanitaire, donc Il est important de réduire la consommation d'énergie fossile dans le bâtiment. L'une des solutions possibles est d'utiliser un échangeur de chaleur air-sol. C'est un système de chauffage, de ventilation et de climatisation qui utilise l'énergie géothermique pour préchauffer ou rafraîchir l'air d'un bâtiment. Le couplage avec une ventilation double flux, une pompe à chaleur et des capteurs photovoltaïques semble prometteur pour satisfaire les besoins thermiques. Par ailleurs, des collecteurs solaires thermiques avec un stockage de chaleur peuvent satisfaire la demande d'eau chaude.

L'objectif de cette étude est de déterminer le meilleur dimensionnement et la meilleure régulation du puits canadien pour différent climats mondiaux.

PRÉSENTATION DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE

Sources d'énergie :	*Composants :*	*Energie produite :*
Energie géothermique	Echangeur air-sol (EAS) Ventilation double flux (VMC) Pompe à chaleur (PAC)	Chauffage Rafraichissement
Energie solaire	Capteurs thermique (PTH) Echangeur à plaque (EC) Ballon de stockage (SC)	Eau chaude sanitaire
	Capteurs photovoltaïques (PV)	Electrique (système)

Le système énergétique est un puits canadien composé d'un/une :

- ***EAS*** qui utilise l'énergie géothermique pour préchauffer ou rafraichir l'air d'un bâtiment.
- ***VMC*** qui permet d'extraire l'énergie perdue de l'air vicié pour l'injecter dans l'air neuf.
- ***PAC*** qui récupère les calories de l'air pour les transférer dans le bâtiment.
- ***PTH*** qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer un fluide calorifique pour fournir de l'énergie thermique.
- ***EC*** qui transfert l'énergie de la boucle des capteurs solaires vers le stockage
- **SC** qui contient de l'eau chaude sanitaire. Il se remplit si les capteurs absorbent de l'énergie et se vide s'il y a du puisage.
- ***PV*** qui permet de convertir le rayonnement solaire en électricité.

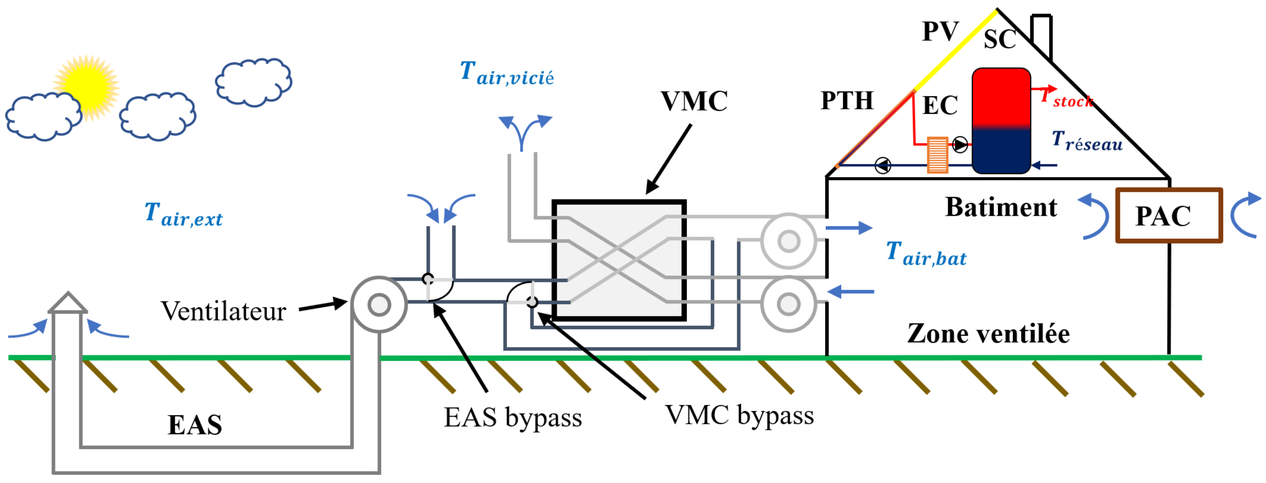


Schéma du système énergétique

Variables :

Nom	r	L	z	R_{air}	T_{reg}	A_{PV}	P_{PAC}	A_{TH}	V_{ECS}
Référence	0,25	50	2,5	0,5	22,5	10	3	25	1,2
Unité	m	m	m	vol/h	$°C$	m^2	kW	m^2	m^3

Objectifs :

Maximiser	Fraction d'énergie renouvelable	F_{ENR}
Maximiser	Coefficient de performance	COP
Minimiser	Coût d'énergie récupérée	CER

MÉTHODOLOGIE D'OPTIMISATION MULTICRITÈRE

Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité permet de hiérarchiser les entrées les plus influentes. La méthode *FAST* [1] permet de calculer les indices de Sobol qui sont moyennés $\overline{IS}$ par rapport aux trois objectifs et aux différentes capitales.

[1] A. Saltelli, M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni, D. Gatelli, M. Saisana, S. Tarantola, Global Sensitivity Analysis. The Primer, Vol. 304, John Wiley & Sons, 2008.

Classement des contributions pour les différents facteurs

Rang	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Variable	P_{PAC}	A_{TH}	R_{air}	V_{ECS}	A_{PV}	T_{reg}	L	z	r
$\overline{IS}$	0,294	0,288	0,172	0,062	0,060	0,048	0,021	0,011	0,002

➔Sélection P_{PAC}, A_{TH}, R_{air}, V_{ECS}, A_{PV} *pour l'optimisation*

Optimisation multicritère

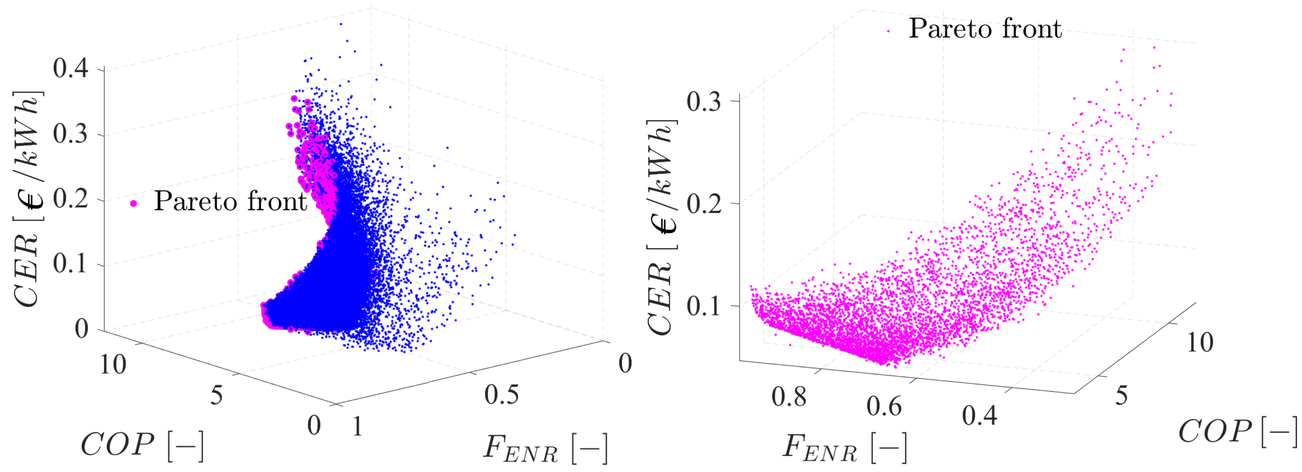
L'optimisation multi-objectifs cherche a optimiser plusieurs fonctions simultanément. Cependant, il n'existe pas de solution optimale pour un problème multi-objectifs, c'est un ensemble de bon compromis (front de Pareto)
➔ Utilisation de l'algorithme *NSGA-II* [2].

Quand F_{ENR} ↗, CER et COP ↘

- CER, de 0,046 à 0,30 €/kWh
- COP, de 4 à 12
- F_{ENR}, de 0,30 à 0,98

- R_{air} ∈ [0,4 ; 0,65] h^{-1}
- P_{PAC} ∈ [0 ; 10] kW
- A_{PV} ∈ [0 ; 100] m^2
- A_{TH} ∈ [10 ; 100] m^2
- V_{ECS} ∈ [0,5 ; 1,9] m^3

[2] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan, A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, Evolutionary Computation, IEEE Transactions on 6 (2002) 182 – 197.



Front de Pareto en fonction des objectifs pour Moscou

Méthode d'aide à la décision

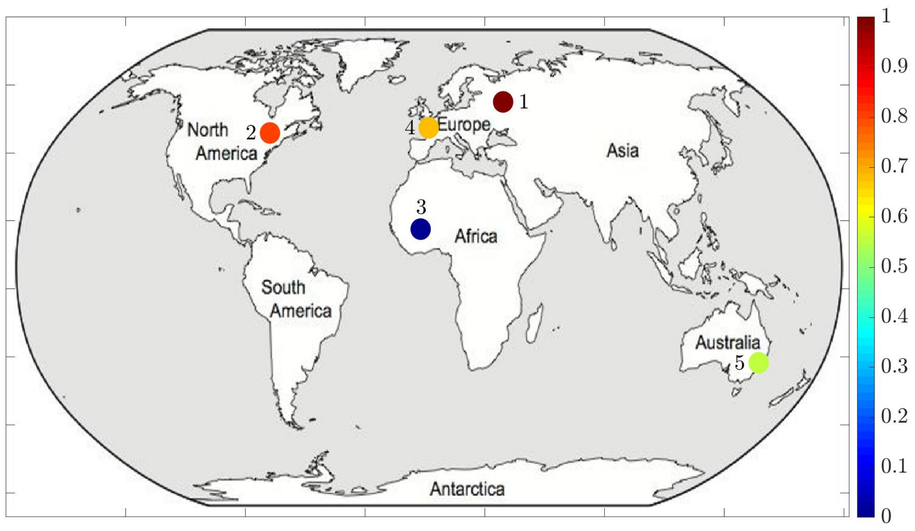
L'aide à la décision est l'ensemble des techniques qui sélectionne la meilleure solution parmi le front de Pareto ➔ Utilisation de la méthode *TOPSIS* [3]

/	COP	F_{ENR}	CER / P_{elec}	R_{air}	A_{PV}	P_{PAC}	V_{ECS}	A_{TH}
Unité	–	–	€/kWh	h^{-1}	m^2	kW	m^3	m^2
Moscou (1)	4,22	0,939	0,094 > 0,049	0,586	78,8	6,72	1,74	70,9
Ottawa (2)	4,12	0,956	0,088 < 0,091	0,644	65,2	6,68	1,06	67,9
Ouagadougou (3)	6,09	0,991	0,083 < 0,188	0,368	11,7	4,40	0,55	10,7
Canberra (4)	6,55	0,957	0,175 < 0,210	0,409	13,0	3,49	1,07	56,7
Paris (5)	5,25	0,954	0,118 < 0,180	0,463	45,6	5,94	1,19	63,6

Coordonnées du meilleur compromis pour différents climats mondiaux

[3] G. H. Tzeng, J. J. Huang, Multiple attribute decision making: Methods and applications, CRC Press, Taylor and Francis Group, A Chapman & Hall Book, Boca Raton, 2011.

Le système est autonome ($F_{ENR} \approx 1$), performant ($COP > 1$), rentable ($CER < P_{elec}$)



Comparaison des performances du système entre les différents climats

CONCLUSIONS

- Analyse de sensibilité : P_{PAC}, A_{TH}, R_{air}, V_{ECS}, A_{PV} ont une grande influence
- Optimisation : l'augmentation d'un critère dégrade les autres objectifs
- Aide à la décision : système énergétique rentable, performant et autonome

PERSPECTIVES

- Implémentation d'un objectif environnemental tel que les émissions de CO2
- Modélisation d'un système éolien avec des batteries pour les besoins en électricité

(*) Auteur correspondant (arnaud.lapertot@univ-amu.fr)
(1) IUSTI UMR 7343, CNRS-Université d'Aix Marseille, 5 rue Enrico Fermi, Marseille, France

Congrès français de thermique
Thermique et Mix énergétique
Belfort 1er-3 juin 2021